

Исследование активных вулканов методами дистанционного зондирования

А.П. Хренов

*Учреждение Российской академии наук Институт геологии рудных месторождений,
петрографии, минералогии и геохимии РАН (ИГЕМ РАН)
Москва, 119017, Старомонетный пер., 35
E-mail: khrenov@igem.ru*

Единственной возможностью максимального снижения риска и минимизации последствий воздействия вулканизма на природную среду и цивилизацию является прогноз и своевременное оповещение о готовящихся вулканических извержениях. Этим целям служит система космического мониторинга катастрофических явлений, которая предназначена для решения основных задач: обнаружение и выявление предвестников извержений; контроль развитием происходящих событий; разработка сценариев динамики извержений, с целью оценки их масштаба и влияния на природную среду. Созданы цифровые модели (3D) рельефа активных вулканов Камчатки и Курильских островов с последующей разработкой сценария их катастрофических извержений. Основными измерительными средствами для решения задач исследования природных ресурсов Земли и в частности успешно применяемыми для мониторинга вулканов являются: многоспектральный сканирующий радиометр (MODIS), усовершенствованный спутниковый радиометр высокого разрешения теплового излучения и отражения (ASTER). Компьютерная обработка радарных интерферометрических измерений (SRTM) и возможность построения новых трехмерных «цифровых слоев», позволяет в дальнейшем достаточно оперативно оценивать границы и объемы изверженного материала во время извержения в реальном времени.

Ключевые слова: вулкан, извержения, мониторинг, дистанционные исследования, вулканическая опасность.

К природным катастрофам, в первую очередь, относятся: землетрясения, извержения вулканов, цунами, лесные пожары, наводнения и так далее. Эффективное использование искусственных спутников Земли (ИСЗ) для мониторинга за этими процессами имеет исключительное преимущество перед традиционными геологическими исследованиями – это, в первую очередь возможность непрерывных наблюдений труднодоступных районов, а в случае использования СВЧ-аппаратуры – в любое время года и суток.

Эти преимущества позволяют оценить динамику геологических процессов, а также вести практически одновременно по всей планете наблюдения за разномасштабными геологическими объектами от разломов и вулканов до перемещения литосферных плит. Еще свежи в памяти последствия катастрофического землетрясения на о. Гаити в январе 2010 г., унесшего тысячи жизней и разрушившего поселения. К таким же катастрофическим процессам относятся извержения вулканов, как например, Ксудач в 1907 г., Тамборо в 1918 г., Сент-Хеленс в 1980 г., Пинатуба в 1991 г., Ключевского в 1994 г. и др. Такие катастрофические землетрясения и извержения будут происходить снова, и наше понимание их механизма и влияния на окружающую среду может быть существенно улучшено за счет комплексного подхода к методам и результатам измерений космического мониторинга.

Использование методов дистанционного зондирования (ДЗ) в областях современного вулканизма позволило на качественно новом уровне проводить вулканологические исследования (Хренов и др., 2005, 2008). Эффективность методов ДЗ наиболее наглядно продемонстрирована при проведении съемок таких динамичных, труднодоступных и опасных при-

родных объектов, какими являются вулканы во время извержения. Изучение трансформации частиц вулканического аэрозоля, а также переноса аэрозольных частиц на значительные расстояния, определили развитие данного нового направления по контролю распространения вулканических облаков для решения проблемы обеспечения безопасности полетов. Методы ДЗ позволяют подойти к проблеме поиска новых критериев – предвестников катастрофических извержений. Единственной возможностью максимального снижения риска и минимизации последствий катастрофических извержений на природную среду и цивилизацию является прогноз и своевременное оперативное оповещение о готовящихся вулканических извержениях, создание сценарий развития эруптивных событий. Этим целям служит система космического (спутникового) мониторинга активных вулканов, которая предназначена для решения основных задач: 1) обнаружение и выявление предвестников катастрофических извержений, 2) своевременное оперативное оповещение о предстоящих событиях, 3) контроль динамики извержений, с целью оценки масштаба их последствий.

Для получения полноценной объективной информации об объектах наблюдений необходимо провести комплексную триаду исследований – наземных, самолетных и спутниковых измерений.

Методы компьютерной обработки позволяют оперативно создавать трехмерные цифровые модели (3D) рельефа вулканов и наносить на них с высокой точностью дополнительные геологические и вулканологические данные. Кроме того, они позволяют прогнозировать возникновение новых эруптивных центров на склонах стратовулканов или в зонах ареального вулканизма, моделировать распространение селевых и лавовых потоков, а также создавать новые «цифровые слои» для количественной оценки объемов изверженного материала в реальном времени, отображать на них петрохимические и возрастные данные. Для получения конечного результата, были использованы программные продукты: Images/Image Processing Kit, TNTmips (MicroImages/Images Inc.), EASI/PACE, FLYI, (Radarsoft), ENVI (Research Systems), PHOTOMOD («Пакупец»), 3dem (Visualization Software LLC), HDFLook, ScanMagic (RDC ScanEx), Global Mapper v5.04 (Global Mapper Software LLC), ArcGis (Environmental Systems Research Institute). С помощью программы ERDAS IMAGINE 7.0 (компании Earth Resources Data Analysis System) выполнен аэрокосмический анализ данных, полученных с самолетов-лабораторий Ан-30 (МО РФ), Ту-154 (ЦПК им. Ю. Гагарина), Лиерджет-23 (NASA), оснащенных приборами дистанционного зондирования – РЛС БО, АФА, «Зима», «Осень», TIMS, ZEISS, и с космических аппаратов «Алмаз-1», «Мир», «Ресурс-Ф», МКС, SPOT, Landsat, Shuttle (SRTM) и Terra (ASTER, MODIS) для действующих вулканов.

Мониторинг активных вулканов Камчатки и Курил

Современные методы ДЗ такие как, интерферометрические измерения (SAR), радарные измерения (РЛС) и съемка многоканальными радиометрами (ASTER, MODIS), позволяют вести эффективный мониторинг состояния морфологии кратеров и экструзивных куполов действующих вулканов.

Для прогноза извержения вулканов Ключевского, Безымянный и Шивелуч наиболее успешным в 80-е годы прошлого столетия, оказался метод фотограмметрической обработки аэрофотоснимков (Двигало, 1984, 1991, 2000).

Впервые в ИГЕМ РАН были созданы цифровые модели рельефа (3D) для вулканов Курило-Камчатской островной дуги. Особое внимание было уделено вулканам Ключевской группы (рис. 1), как наиболее изученной, активной и продуктивной в этом регионе (Пийп, 1956; Хренов и др., 2005, 2008).

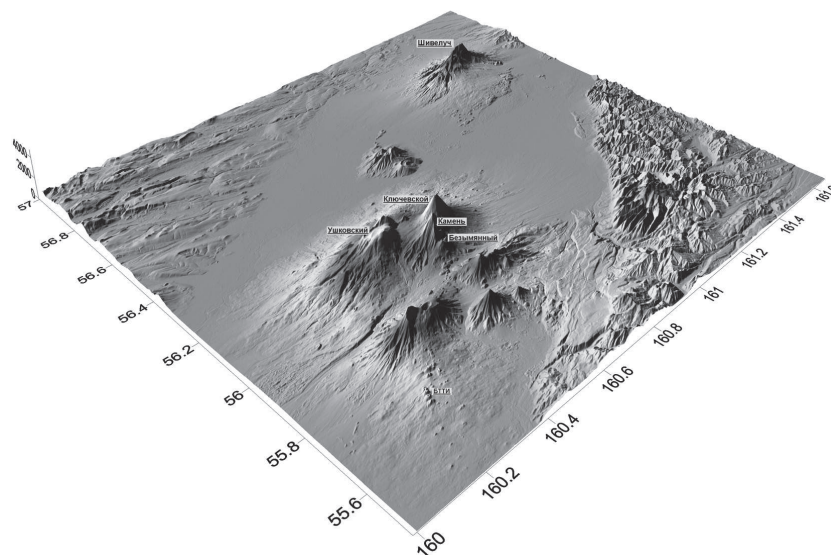


Рис. 1. Цифровая модель рельефа (3D) вулканов Северной группы

Анализ эволюции развития вулканов и динамики их извержений позволяет предложить для наиболее активных из них оптимальный сценарий возможных будущих извержений и оценить масштаб последствий.

Вулкан Шивелуч – самый северный из действующих вулканов Камчатки. Это сложного строения вулканический массив. По характеру активности и типу извержений в настоящее время Шивелуч больше всего близок к вулкану Безымянному, катастрофическое извержение которого произошло 30 марта 1956 г. После катастрофического извержения Шивелуча в 1964 г. был разрушен купол Суелич и, в результате взрыва, на поверхность было выброшено более 3 км³ вулканических пород. С 1980 г. по настоящее время начался рост и формирование нового экструзивного купола (рис. 2), а вулкан Шивелуч вступил в новую фазу – стадию эксплозивно-экструзивных извержений, которая характеризуется интенсивным ростом и разрушением новых блоков на куполе (Двигало, 1984). Эти процессы сопровождаются формированием раскаленных лавин и пирокластических потоков. Часто вслед за ними образуются лахары и селевые потоки. Периодически на куполе происходят пароксизмальные взрывы с выбросом пепла на высоту до 8–10 км. На цифровой трехмерной модели рельефа показана граница распространения пирокластического потока от катастрофического извержения 1964 г. (рис. 3). Анализ мониторинга купола за последние более чем 40 лет, позволяет сделать вывод, что даже при будущих катастрофических извержениях на куполе и его разрушениях (направленном взрыве), пирокластический материал не выйдет за границы отложений извержения 1964 г.

Вулкан Ключевской – самый высокий (4800 м) из действующих вулканов Евразии и один из самых активных и продуктивных вулканов Курило-Камчатской островной дуги (Пийп, 1956; Хренов, 1982; Хренов, Двигало и др., 1991; Хренов и др., 2008) (рис. 4). Его именем названная «самая замечательная группа вулканов на Камчатке» – определение академика Н.А. Заварицкого – в которую входят 11 вулканов, 4 из которых – действующие (см. рис. 1).



Рис. 2. Формирование и рост экструзивного купола

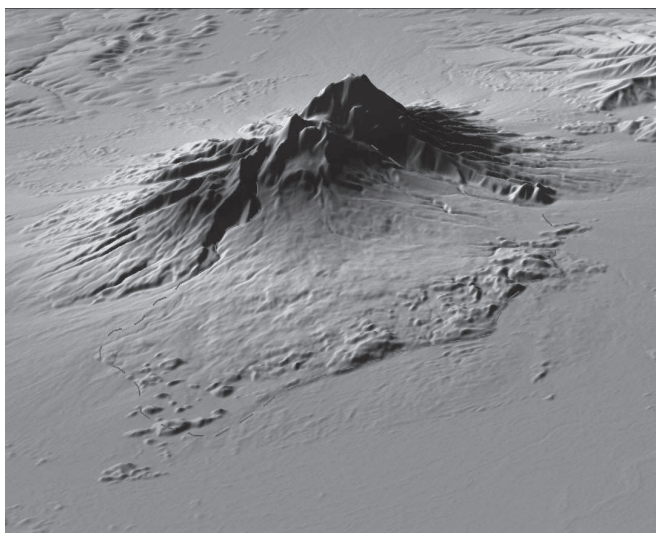


Рис. 3. Цифровая модель рельефа (3D) вулкана Шивелуч с границей пирокластического потока катастрофического извержений в ноябре 1964 г.

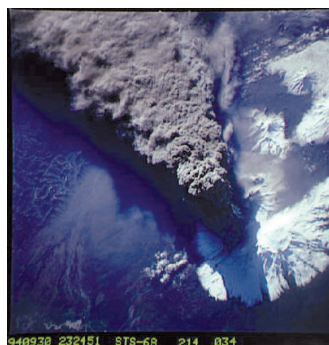


Рис. 4. Главный вулкан Камчатки – Ключевской. На его склонах многочисленные шлаковые конусы (моногенные вулканы) и эруптивные центры побочных извержений (фото В. Подтобачного)

Эксплозивная деятельность Ключевского вулкана представляет наибольшую опасность для жизнедеятельности г. Ключи и оказывает негативные воздействия на реактивную авиацию в Северном полушарии. Ярким примером могут служить последствия пароксизмального извержения 1 октября 1994 г., когда 8 международных авиакомпаний отменили свои авиарейсы из Малайзии и Японии в США и Канаду вследствие загрязнения вулканическим пеплом трасс следования самолетов (рис. 5а, б).



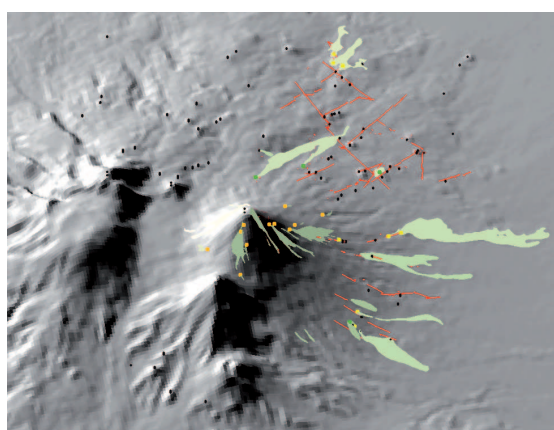
а



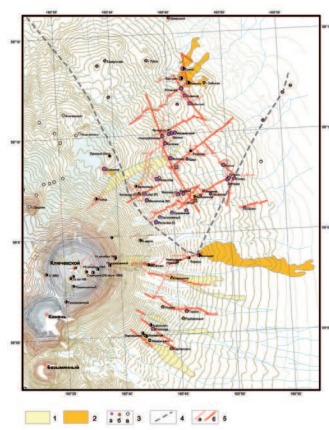
б

Рис. 5. Катастрофическое извержение Ключевского вулкана 1 октября 1994 г.; а – пароксизмальный взрыв (фото Н. Смелова), б – космический снимок пеплового шлейфа

На рис. 6а, б приведена цифровая 3D морфологическая модель рельефа и новая цифровая карта Ключевского вулкана, на которой впервые выделена ареальная зона вулканизма, приуроченная к склонам Ключевского вулкана. Такие цифровые карты позволяют в реальном времени в географической системе координат, в случае извержения, наносить на них места новых центров извержения, границы лавовых и селевых потоков, раскаленных лавин, лахар и прогнозировать масштабы последствий.



а



б

Рис. 6. Цифровая морфологическая 3D модель (а) и цифровая карта (б) Ключевской группы вулканов с современными лавовыми потоками, шлаковыми конусами, магмаподводящими трещинами и зоной ареального вулканизма

Вулкан Карымский (рис. 7а, б) расположен в кальдере и представляет собой правильный конус стратовулкана. В Карымскую группу вулканов входят также более древние образования: вулкан Двор, кальдера Карымского озера и вулкан Академии Наук (Хренов и др., 1982).

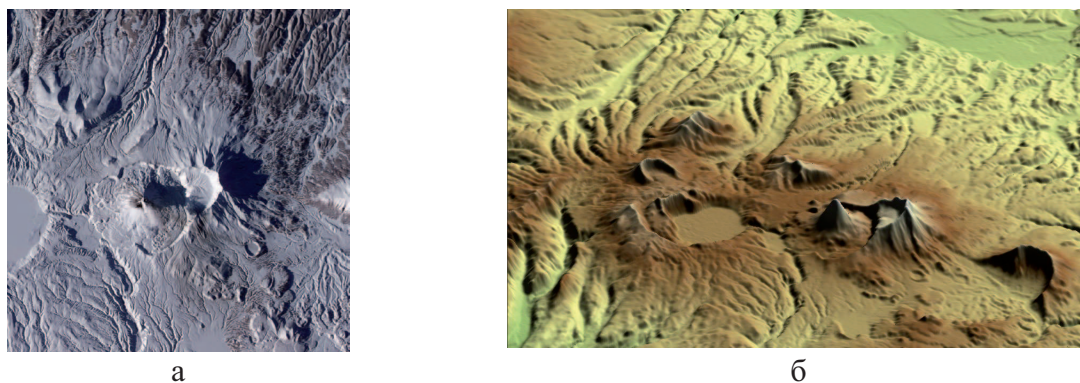


Рис. 7. Космический снимок (а) и цифровая модель рельефа (3D) вулканов (б) Карымской группы

Роль разрывных нарушений в заложении, формировании, динамике развития областей современного вулканизма общеизвестна. С помощью программы автоматизированного линеаментного анализа «LESSA» В.Е. Шкариным был обработан фрагмент космического снимка Landsat за 12.06.2000 г для вулканов Карымской группы (рис. 8). Выявлены главные линеаменты субширотного простирания, представляющие наибольший интерес как магмоподводящие разломы, пересечение которых с генеральными разломами северо-восточного простирания, выделенных ранее академиком А.Н. Заварицким, определяют динамику и развитие современного вулканизма Камчатки.

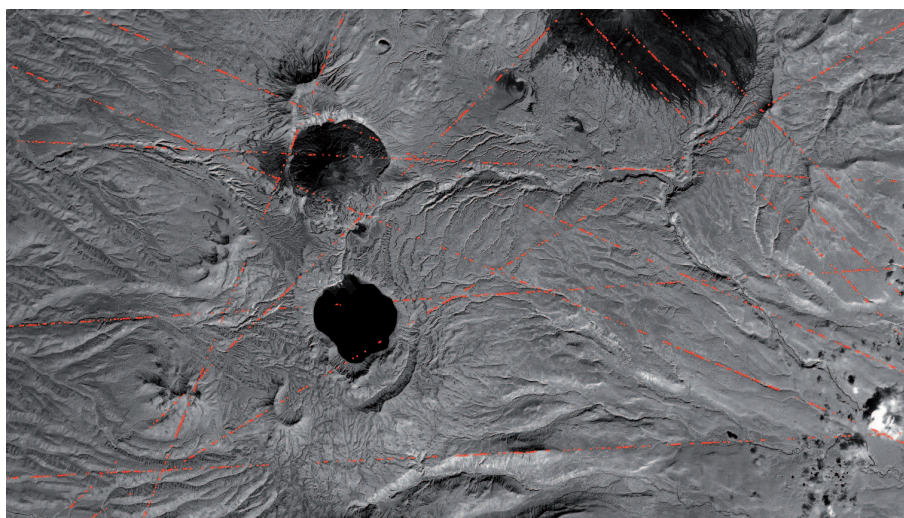


Рис. 8. Результаты автоматизированного линеаментного анализа «LESSA» на Карымскую группу вулканов

Большое трещинное Толбачинское извержение 1975–1976 гг. В результате этого извержения, предсказанного за неделю П.И. Токаревым, в ареальной зоне вулкана Плоский Толбачик образовалось шесть новых Толбачинских вулканов (моногенных шлаковых конусов) и лавовые поля (рис. 9а, б). В 1993 г. были проведены совместные исследования с использованием одновременно на Камчатке самолетов-лабораторий JPL/NASA и МО РФ. В Лаборатории Реактивного Движения (JPL) был создан Тепловой Инфракрасный Многозональный Сканер (TIMS), в том числе и для решения задач вулканологии (Abrams, Abboff, Kanle, 1991; Pieri, Khrenov et al., 1985).

Несмотря на то, что все перечисленные выше вулканы Камчатки практически не несут существенной опасности для населения полуострова даже в случае катастрофических

извержений, опыт создания цифровых моделей рельефа вулканов и создание сценариев извержений с последующей оценкой вулканопасности имеет большое практическое значение. Кроме того, остается актуальным контроль движения и распространения пепловых облаков во время и после извержений, представляющих реальную угрозу безопасности полетов реактивной авиации в Тихоокеанском регионе. Последние события связанные с извержением 14 апреля 2010 г. вулкана Эйяфьятлайокудль в Исландии, когда Европейские аэропорты и авиация были на неделю парализованы, лишний раз свидетельствуют об актуальности мониторинга пепловых облаков (рис. 10).

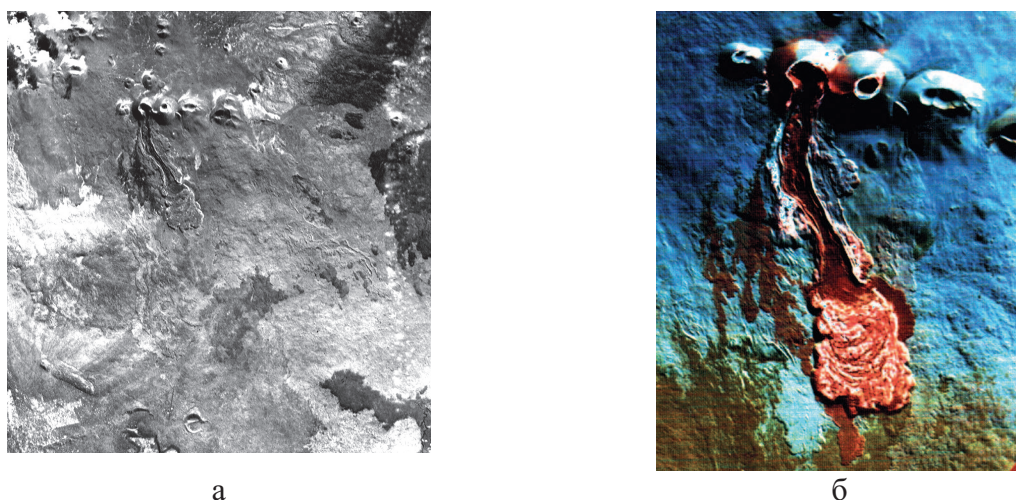


Рис. 9. Новые Толбачинские вулканы: а – три новых шлаковых конуса Северного прорыва БТТИ (Ресурс-Ф); б – лавовое поле из отдельных лавовых потоков, отличающихся по времени излияния и химическому составу (ТИМС)

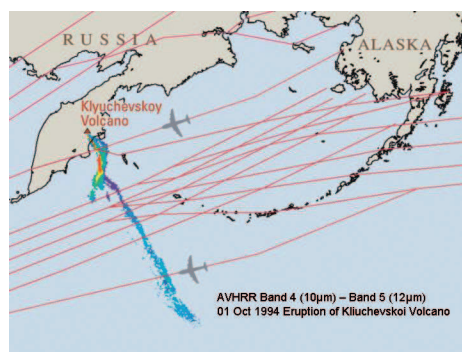


Рис.10. Маршруты международных авиалиний в северной акватории Тихого океана и пепловый шлейф Ключевского вулкана (1 октября 1994 г.), перекрывший все трассы международных сообщений реактивной авиации

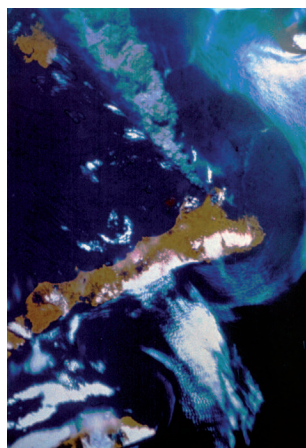
Известно около 40 случаев, когда при перелетах в таких условиях самолеты попадали в зону влияния вулканических облаков. Хорошо известны примеры такие как: вынужденная посадка самолета авиакомпании Britishair в аэропорту Джакарты в 1982 г., при перелете из Малайзии в Австралию и вынужденная посадка DC-10 в аэропорту Анкориджа в 1990 г. в результате попадания самолета в пепловое облако от вулкана Ренаут (Аляска). От активности только одного вулкана Пинатуба в 1980 г. (Филиппины) было зарегистрировано несколько случаев нештатных ситуаций на борту авиалайнеров, которое заканчивались неоднократно вынужденными посадками.

Причинами таких катастроф было всегда облипание и кристаллизация частиц пепла, состоящих, главным образом из вулканического стекла и аэрозоля на лопатках реактивных турбин.

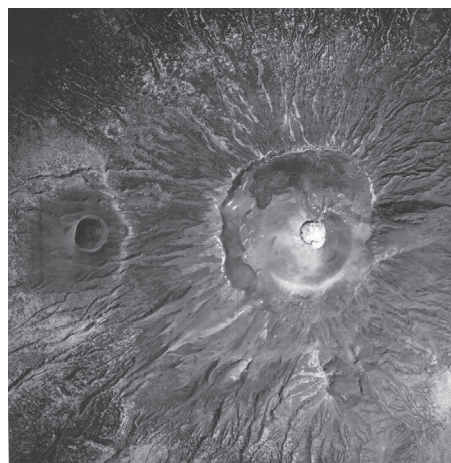
Вулкан Тятя расположен в юго-восточной части о. Кунашир. На вершине расположен неглубокий замкнутый кратер. На северо-восточном склоне имеется небольшой побочный конус. Два небольших потока лавы базальтового состава извержения 1812 г. достигают северо-западного понижения гребня соммы и спускаются по ее внешнему склону.

Извержение вулкана Тятя в 1973 г. началось 14 июля серией мощных эксплозивных взрывов и газовых продувок из двух групп эруптивных центров на противоположных северном и юго-восточном склонах древней постройки вулкана в пределах высот 450–500 м над уровнем моря (Кирсанов и др., 1975; Хренов, 1982)

На северном склоне вулкана извержение продолжалось всего одни сутки. Здесь образовались две системы взрывных кратеров-воронок субмеридионального и северо-восточного простирания длиной более 900 м, шириной 100–150 м и глубиной от 5 до 60 м. Деятельность кратеров была исключительно эксплозивной и выражалась мощными взрывами с выбросом раскаленного резургентного материала. Это привело к тому, что на расстоянии до 3 км от кратеров лес оказался обожженным, ободраным и местами поваленным. Эксплозивное извержение на юго-восточном склоне вулкана продолжалось с 14 по 26 июля. В результате 12-ти дневного эксплозивного извержения сформировался небольшой шлаковый кратер в виде взрывной воронки, дно которого было заполнено лавой базальтового состава (рис. 11а). Эксплозивная активность сохранялась на одном уровне: нагруженная бомбами и пеплом эруптивная колонна поднималась на высоту до 8 км, а пепловый шлейф потягивался на сотни километров. Пепел выпал на о. Шикотан и о. Сахалин (рис. 11б).



а



б

Рис. 11. Космический снимок вулкана Тятя: а – шлаковый кратер, места извержения 14–28 июля 1973 г. (слева) на склоне; б – пепловый шлейф от эруптивных взрывов в течение 12 дней, распространялся на сотни километров, достигнув южной оконечности о. Сахалин

Особенности дешифрирования радиолокационных изображений (РЛИ)

Радарные системы обладают превосходной возможностью обеспечивать мониторинг и контроль быстротекущих процессов на Земле. Исследованию в этой области по эффективному применению методов СВЧ и изучению окружающей среды посвящены работы

Н.А. Арманд, П.Г. Бородина, П. Кронберга, R.J. Gurner, J.L. Foster, C.L. Parkinson, J. Faney (Satellite Atlas of the World) и др. В отличие от оптических методов, радиолокационные системы являются всепогодными. Их данные не зависят от степени освещенности, радиолокационный луч обладает способностью, в зависимости от длины волны, проникать сквозь определенный поверхностный слой земли, в том числе растительный покров, лед и др.

Радиолокаторы с синтезированной апертурой (РСА) наряду с ИК-съемкой используются для идентификации потоков лавы по шероховатости облучаемой поверхности. Эта характеристика была использована как для различения типов лавовых потоков, так и для определения относительного возраста застывшей лавы, поскольку более старая структура имеет более выровненную поверхность.

Морфологическая структура поверхности Земли отображается в структуре радарного изображения, зависящего от угла облучения зондирующими сигналами склонов рельефа. В частности, при малых углах наблюдения даже небольшие перепады рельефа могут дать контрастные образы, позволяющие обнаружить незаметные другими методами образования типа сбросов. Рельеф земной поверхности отображается также в фазовой структуре рассеянных сигналов, что позволяет с помощью алгоритмов интерферометрической обработки построить ее трехмерное изображение и сформировать цифровые морфологические модели различных структурных образований (SAR Interferometry).

В ИГЕМ РАН были детально проанализированы радиолокационные изображения вулканов Ключевской группы на Камчатке (SIR-C/X-SAR), полученные с помощью радиолокатора с синтезированной апертурой (РСА) и предоставленные JPL/NASA нам для обработки. SIR-C/X-SAR трех диапазонный много поляризационный (РСА), базирующийся на платформе Space Shuttle, совершил два полета: над Камчаткой в апреле и октябре 1994 г.

SIR-C/X-SAR включает следующие диапазоны: L-диапазон (длина волны 23 см), С-диапазон (длина волны 5,6 см) и Х-диапазон (длина волны 3,1 см). РСА в L и С диапазонах работает во всех комбинациях поляризаций. В последние три дня полета большинство съемок пришлось на вулканы Камчатки. Анализ материалов показал, что для задач вулканологии и геологии наибольший интерес представляют режимы съемок, обеспечивающие наличие кросс-поляризационных изображений при широкой полосе обзора в L-диапазоне.

Особое внимание заслуживает возможность получения изображений при разной поляризации радиосигнала. Наличие одновременно каналов кросс-поляризованного, горизонтального-вертикального (HV), или вертикального-горизонтального (VH) и одинаково поляризованного: горизонтального-горизонтального (HH) или вертикального-вертикального (VV) сигналов у РЛС БО позволяет в ряде случаев получить дополнительную информацию. РСА Х-диапазона работает на одной поляризации (VV).

С помощью SIR-C можно получать изображения в различных режимах и разрешением на местности 25 м. Запись изображения на борту происходит параллельно по четырем каналам. Изменение параметров съемки оказывает существенное влияние на степень дешифрирования глыбовых лавовых потоков. Значительную роль играет соотношение направления визирования и экспозиции склона вулкана.

Метод кросс-поляризации в L-диапазоне (23 см) наиболее эффективен при выделении на радиолокационных изображениях лавовых потоков даже на крутых склонах вулканов. Этот вывод был убедительно доказан при совместных исследованиях сотрудниками ИГЕМ РАН (А.П. Хренов, О.А. Богатилов) и ИРЭ РАН (Н.А. Арманд, Ю.Г. Тищенко) при выполнении международной научной программы по проекту «Alpha», теперь МКС.

Заключение

Краткосрочный прогноз опирается на инструментальные наземные и аэрокосмические наблюдения на отдельных активных вулканах.

Крупные и сильные извержения, с объемом изверженного материала на дневную поверхность порядка 1 км^3 , происходят приблизительно 1 раз в 2–3 года. Поэтому, в принципе с помощью космического мониторинга в течение 20 лет можно получить наблюдения за 5–10 такими извержениями.

Пока единственной возможностью максимального снижения риска и минимизации последствий геологических катастроф, таких как извержений вулканов и землетрясений является прогноз и своевременное оповещение о готовящихся землетрясениях и извержениях. Перспективными и эффективными материалами дистанционного зондирования регионов с потенциально повышенной сейсмической и вулканической активностью, с целью поиска критериев предвестников природных катастроф, на наш взгляд является, получение радиолокационных и интерферометрических измерений земной поверхности.

В настоящее время, в мировой практике, в том числе и в России, есть примеры успешных прогнозов извержений вулканов. Так практически решена проблема сейсмологического районирования сейсмоопасных территорий, т.е. место и возможная магнитуда землетрясения. Предсказание же времени начала землетрясений пока остается невозможным. И в этом может быть большое будущее за краткосрочным прогнозом землетрясений с помощью методов дистанционного зондирования с космических аппаратов. Этим же целям служит система космического (спутникового) мониторинга активных вулканов, которая предназначена для решения основных задач: обнаружение и выявление предвестников катастрофических извержений, контроль развития происходящих событий, создание сценариев динамики извержений с целью оценки масштаба и их последствий, влияющих на окружающую среду и цивилизацию.

Литература

1. Двигало В.Н. Рост купола в кратере вулкана Шивелуч в 1980–1981 гг. по фотограмметрическим данным // Вулканология и сейсмология. 1984. № 2. С. 104–109.
2. Двигало В.Н. Кратер и вершинные извержения Ключевского вулкана в 1968–1988 гг. (по аэрофотограмметрическим наблюдениям) // Вулканология и сейсмология. 1991. № 5.
3. Двигало В.Н. Морфологические предвестники (первые признаки) активизации некоторых вулканов Камчатки // Вулканология и сейсмология. 2000. № 4. С. 3–16.
4. Кирсанов И.Т., Хренов А.П., Вакин Е.А. Действующие вулканы Камчатки и Курильских островов в 1973 г. // Бюлл. вулк. станций. 1975. № 51. С. 3–18.
5. Пийп Б.И. Ключевская сопка и ее извержения в 1944–1945 гг. и в прошлом // Тр. лаб. вулканологии. 1956. Вып. 11. 308 с.
6. Хренов А.П. Динамика извержений и процессы кристаллизации магм. М.: Наука, 1982. 130 с.
7. Хренов А.П. и др. Эруптивная деятельность вулкана Карымского за десять лет (1970–1980 гг.) // Вулканология и сейсмология. 1982. № 4. С. 29–48.
8. Хренов А.П., Богатилов О.А., Дроздин Д.В., Лексин А.Б., Маханова Т.М. Трехмерные цифровые модели вулканов по материалам радиолокационных измерений // ДАН, 2005, Т. 202, № 1, С. 71–75.
9. Хренов А.П., Богатилов А.Б., Лексин А.Б., Маханова Т.М. Изменениями природной среды и климата: природные и связанные с ними техногенные катастрофы. Новейший вулканизм: законо-

- мерности его активности и сопутствующие катастрофические процессы. «Мониторинг вулканической деятельности и выявление критериев предвестников катастрофических извержений вулканов аэрокосмическими методами дистанционного зондирования». М.: ИГЕМ РАН, 2008. Т. 2. С. 300–319.
10. Хренов А.П., Двигало В.Н. и др. Ключевской вулкан. Действующие вулканы Камчатки. М.: Наука, 1991. С. 45–74.
 11. Abrams M., Abbott E., Kanle A. Combined Use of Visible, Reflected Infrared and Thermal Infrared Images for Mapping Hawaiian Lava Flows // Jour. of Geophys. Res. 1991. Vol. 96. №. B1. P. 475–484.
 12. Pieri D.C., Khrenov A.P., Droznin V., Dvigalo V. et al. The 1993 Airborne Multispectral Thermal Infrared Survey of Volcanoes on the Kamchatka Peninsula, Russia. EOS, Transactions, American Geophysical Union, 1995. 15 p.

Active volcanoes monitoring by remote sensing methods

A.P. Khrenov

*Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy, and Geochemistry, a Russian Academy of Sciences institution (IGEM RAS)
35 Staromonetnyy Pereulok, Moscow 119017, Russia
E-mail: khrenov@igem.ru*

Volcanic eruption forecast and timely warning is the only possibility to reduce the risks and minimize the consequences of volcanic impact on the environment and civilization. The system of the space monitoring of catastrophic phenomena serves the purposes of the detection and recognition of eruption precursors, ongoing event monitoring and eruption dynamics scenario development with the objective to estimate eruption scale and environmental impact. Three-dimensional digital elevation models (DEMs) of active volcanoes of Kamchatka and the Kuril Islands were compiled with subsequent development of their catastrophic eruption scenarios. The main instruments applied for the studies of the Earth's natural resources, successful volcano monitoring in particular, are the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) and Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER). Computer processing of SAR interferometry data acquired by the Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) and the possibility to compile new three-dimensional digital data layers enables the prompt assessment of erupted material extent and volumes during future eruptions in real-time mode.

Keywords: volcano, eruptions, monitoring, remote sensing, volcanic hazard.